

### Секция 3.

#### Обеспечение комплексной безопасности зданий и сооружений в современном строительстве

*Алёхин Владимир Николаевич,  
Плетнёв Максим Валерьевич,  
Антипин Алексей Александрович,  
Городилов Сергей Николаевич,  
Ханина Анна Борисовна,  
Зубрицкий Максим Александрович*

## АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ МОНИТОРИНГ ДЕФОРМАЦИЙ ПРИ МОНТАЖЕ УНИКАЛЬНЫХ И ОТВЕТСТВЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ, А ТАКЖЕ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ЗДАНИЙ В УСЛОВИЯХ ПЛОТНОЙ ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКИ

*Alekhin V., Pletnev V., Antipin A., Gorodilov S., Khanina A., Zubritskiy M.*

## AUTOMATED MONITORING OF DEFORMATIONS DURING THE ERECTION OF A UNIQUE AND CRITICAL STRUCTURES, AS WELL AS DURING THE ERECTION OF BUILDINGS IN THE CONDITIONS OF DENSE CITY CONSTRUCTION

[referetsf@yandex.ru](mailto:referetsf@yandex.ru)

[khannabor@gmail.com](mailto:khannabor@gmail.com)

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого  
Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург, Россия

23-24 апреля 2014 года  
Екатеринбург

*Описывается процесс автоматизированного геодезического мониторинга деформации арок несъемной металлической опалубки при бетонировании свода реакторного отделения четвертого энергоблока Белоярской атомной станции, мониторинга подкрановых балок машинного зала при монтаже статора турбоустановки, а также опыт мониторинга зданий и сооружений, попадающих в зону влияния строек в условиях плотной городской застройки. Полученные результаты показали высокую надежность и эффективность применения программного комплекса Leica GeoMos совместно с роботизированным тахеометром Leica TM30 при измерении деформационных процессов.*

*The process of automated geodetic monitoring of deformation of permanent metal formwork arches when concreting the arch of the Beloyarsk NPP fourth reactor compartment, of crane runway beams turbine building during installation of turbine stator, as well as experience in monitoring of buildings and structures within the area of influence construction projects in dense urban areas is described. The results showed high reliability and effectiveness of using the Leica GeoMos software package together with the robotic tacheometer Leica TM30 when measuring deformation processes.*

**Ключевые слова:** геодезический мониторинг, деформации, высокоточные измерения, атомная станция.

**Keywords:** geodetic monitoring, displacements, high-accuracy measurement, nuclear power station.

В настоящее время строительство уникальных, технически сложных и особо опасных объектов допускается только при условии развертывания комплексной системы мониторинга за состоянием основных параметров конструкций. А при строительстве объектов в условиях плотной городской застройки – при условии развертывания системы мониторинга за деформационным состоянием конструкций зданий и сооружений, попадающих в зону влияния строек и природно-техногенных воздействий, для обеспечения безопасной эксплуатации этих зданий и сооружений. Важнейшей для предотвращения аварийных ситуаций составляющей системы мониторинга является организация геодезического мониторинга за деформациями конструкций и грунтов.

При стандартных задачах строительного геодезического мониторинга процессы деформаций развиваются достаточно медленно, и период измерения параметров может составлять от нескольких часов до нескольких недель. Такие работы хорошо знакомы любому геодезисту и могут выполняться с той или иной эффективностью стандартным геодезическим оборудованием. Совершенно иная ситуация возникает, когда требуемый период измерений параметров сокращается до 20-40 минут, а количество контролируемых точек превышает 20. Подобные задачи встречаются при монтаже уникальных строительных конструкций, когда информация о перемещениях контролируемых точек помогает не только из-

Железобетонный арочный свод реакторного отделения пролетом 42 м, длиной 66 м и стрелой подъема арок 9 м рассчитан на прямой удар легкомоторного самолета и имеет толщину 700 мм. На отметке 64,200 м свод опирается на обвязочную бортовую балку, которая в свою очередь опирается на стену толщиной 1 м с пилонами общей толщиной 3 м. Для бетонирования свода была запроектирована и смонтирована несъемная опалубка из 22-ух стальных арок, попарно объединенных в блоки и покрытых профилированным настилом. Схема расположения стальных арок несъемной опалубки показана на рис. 1 [1].

При рассмотрении проектной документации на несъемную опалубку было выяснено, что при ее расчетах не были учтены некоторые условия, связанные с совместной работой опалубки и уложенного бетона, гидростатическим давлением не схватившейся бетонной смеси и возможными перемещениями обвязочной балки. В связи с этим, а также в связи с отсутствием достаточного опыта бетонирования подобных конструкций было принято решение о развертывании системы мониторинга на время производства бетонных работ. Специалистами Уральского федерального университета им. первого Президента России Б.Н.

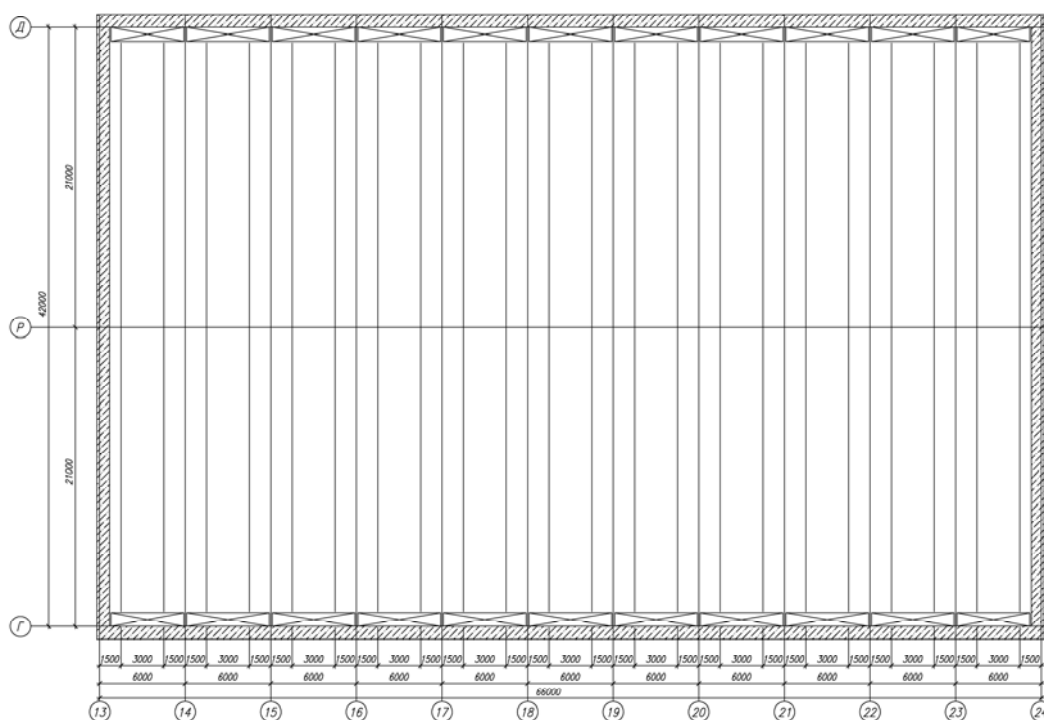


Рис. 1. Схема расположения монтажных блоков несъемной опалубки

Ельцина совместно со специалистами ООО «ТЕХКОН» была установлена, отлажена и успешно использована автоматизированная система геодезического мониторинга на базе электронного тахеометра Leica TM30, которая являлась одной из основных составляющих комплексной системы мониторинга [2]. В задачу системы входило наблюдение за деформациями арок несъемной опалубки в режиме реального времени в течение всего срока бетонирования свода.

В качестве деформационных марок были использованы трипельпризменные отражатели Leica GMP104, закрепленные на стальных арках опалубки с помощью промышленных магнитов бригадой промышленных альпинистов. Всего на арках было закреплено 63 отражателя – по 3 на каждую арку (на арке №1 отражатели не устанавливались из-за отсутствия оптической видимости арки с места установки тахеометра). Схема установки отражателей на арки показана на рис. 2.

В качестве опорных марок для обратной засечки использовались высокоточные призмы Leica GPH1P, закрепленные на ж/б стенах реакторного отделения. Тахеометр с сервоприводом был размещен на специально изготовленном стальном кронштейне, установленном на торцевой стене в пределах площадки обслуживания на отметке 56,800 м. При выборе места размещения тахеометра основным критерием являлось обеспечение оптической видимости всех марок при работе мостовых кранов, а также уменьшение возможного влияния нагрузок при бетонировании свода на кронштейн с тахеометром.

Согласно проекту производства работ бетонирование свода выполнялось в три захватки. Первая захватка находилась в пределах первых шести арок с одного торца свода, вторая

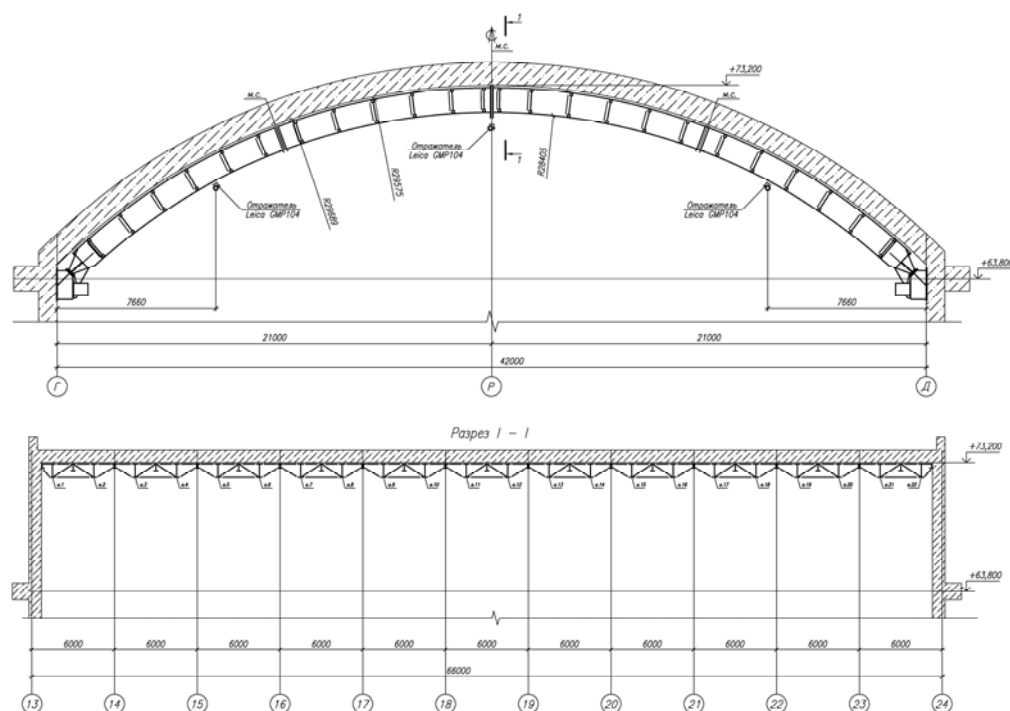


Рис. 2. Схема крепления отражателей на арки

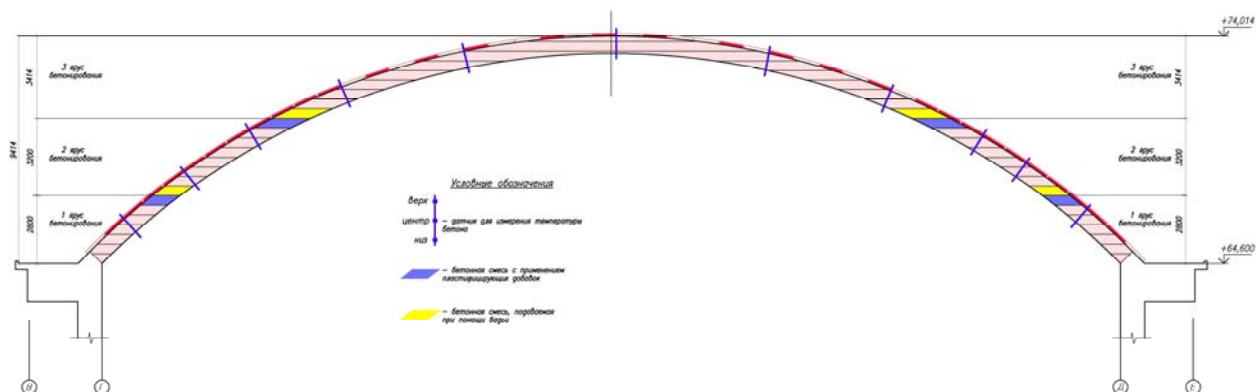


Рис. 3. Этапы бетонирования свода (кол-во этапов сокращено с 5-ти на 1-ой захватке до 3-х на 2-ой и 3-ей захватках)

захватка в пределах шести арок с другого торца, а средние десять арок занимала третья захватка бетонирования. Бетонирование каждой захватки планировалось провести за 80 часов, перерыв между захватками на перестановку опалубки составлял более недели. В пределах каждой захватки бетонирование проводилось симметрично с двух сторон нижней части свода в 5 этапов. Между этапами выполнялись технологические перерывы до 9 часов с целью исключить нарастание гидростатического давления не схватившейся бетонной смеси на опалубку. Верхний слой бетона на каждом этапе содержал добавку для замедления схватывания с целью недопущения образования горизонтальных холодных швов бетонирования (рис. 3).

Для каждой захватки с помощью программного комплекса Leica Geomos Monitor задавались группы контрольных марок. В группы непрерывного наблюдения включались арки, попадающие непосредственно в захватку бетонирования, а также ближайшая арка к границе захватки. Остальные арки включались в группу периодических наблюдений и контролировались с периодом измерений от 40 до 60 минут. Обратная засечка на опорные марки выполнялась с периодом в 20 минут. Процесс снятия всех марок в группе непрерывного наблюдения занимал от 5 до 10 минут в зависимости от захватки, а время двойного измерения одной марки с учетом наведения составило в среднем 10-15 секунд [3].

Автоматизация процесса и скорость измерений позволила в полной мере отслеживать деформации арок несъемной опалубки при бетонировании свода. Полученные данные постоянно сообщались группе, управляющей процессом бетонирования. С помощью программы Leica Geomos Analyzer строились наглядные графики перемещений. В случае превышения расчетных значений деформаций эта информация незамедлительно была бы получена руководителем работ и позволила бы остановить бетонирование до возникновения аварийной ситуации. К счастью, таких ситуаций удалось избежать, и абсолютные значения фактических деформаций стальных арок оказались в 1,5 – 2 раза меньше расчетных при совпадении общей картины их развития, а наличие надежной информации о состоянии опалубки сделало возможным ускорение темпов и сокращение количества этапов бетонирования на 2-ой и 3-ей захватках. Пример графика развития деформаций показан на рис. 4.

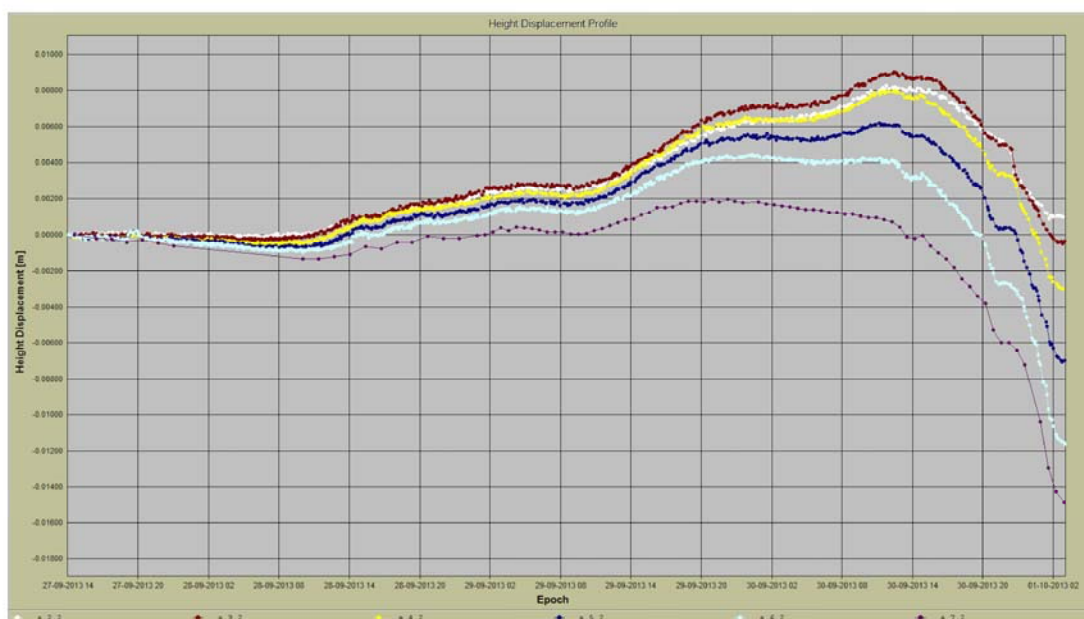


Рис. 4. График перемещения середины арок при бетонировании захватки

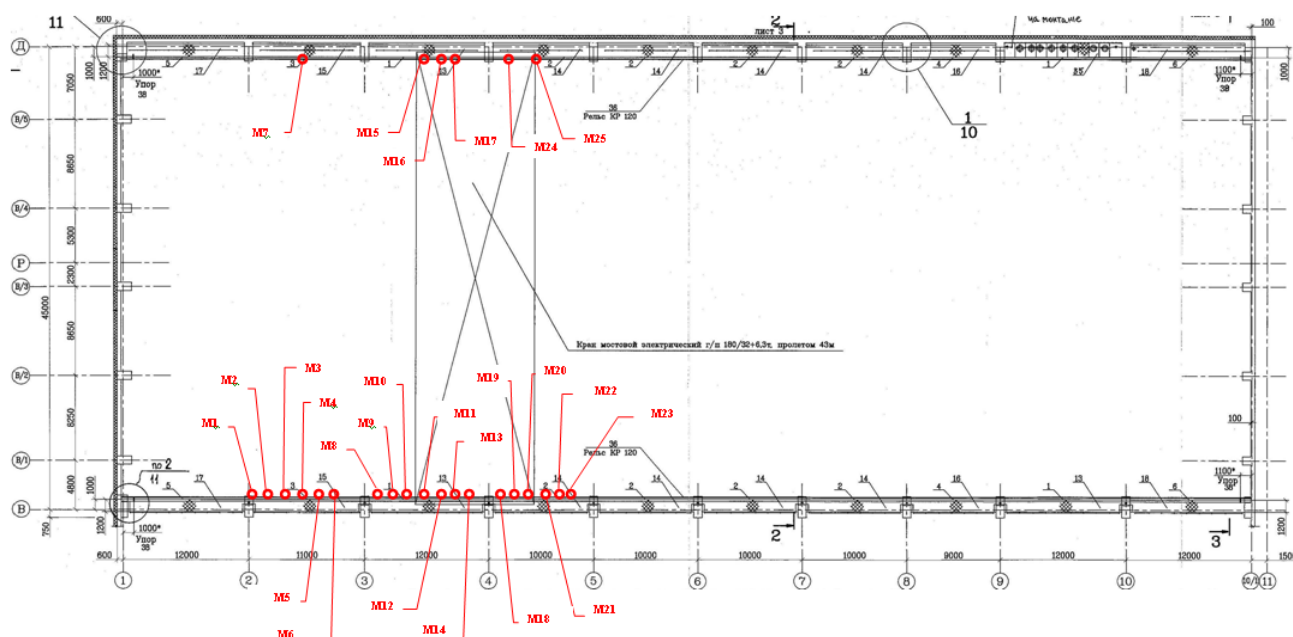


Рис.5. Схема расположения отражателей на нижних поясах подкрановых балок

Дополнительной информацией, полученной в процессе мониторинга, явились измеренные деформации обвязочных бортовых балок, которые с точностью до 1 мм совпали с измерениями, выполненными снаружи здания с помощью обычного тахеометра.

Другим примером реализации системы автоматизированного мониторинга на уникальном объекте является мониторинг подкрановых балок в здании машзала 4 блока Белоярской АЭС с отметкой головки рельса +29.300 для мостового крана грузоподъемностью 180/32+180+6,3тс. Подкрановые балки рассчитаны на установку статора турбоустановки весом 379,4т. Для этого на мост крана временно была установлена дополнительная грузовая тележка. Транспортировка статора производилась только в осях 1-4 (рис. 5) и выполнялась с

помощью двух грузовых тележек, работающих одновременно (в сцепке) с использованием траверсы грузоподъемностью 350,0 тс.

Перенос статора вдоль здания производился строго посередине пролета крана. Подкрановые балки выполнены в виде сварных двутавров со стенками, укрепленными поперечными ребрами жесткости. С целью контроля деформаций подкрановых балок в процессе установки статора турбоустановки на последние были установлены триппельпризменные отражатели в количестве 25 штук. Пример расположения отражателей на подкрановых балках представлен на рис. 6.

Процесс монтажа статора турбоустановки производился в соответствии с ППР на монтаж технологического оборудования. С целью проверки правильности строповки и надежности действия тормоза крана поднятие статора производилось заранее. Установка статора включала следующие этапы:

Подача статора на трале по транспортному коридору под крюк траверсы г.п.350т, закрепленной на тележках мостового крана.

Строповка статора, поднятие блока на 50мм, выдерживание в течение 10 минут с целью проверки правильности строповки и надежности действия тормоза крана, поднятие на 500мм выше отм. +16.260;

Перемещение в сторону ряда, на котором располагается генератор, разворот на 90 градусов, подача к оси генератора, затем к месту установки;

Перемещение к месту установки по оси проема в фундаменте. Установка статора в проем и установка в проектное положение на фундаментные плиты.

Наблюдения за деформационным состоянием подкрановых балок производилось не только на этапе монтажа статора, но и на подготовительных этапах.

Для наблюдения за деформациями подкрановых балок все мониторинговые точки были

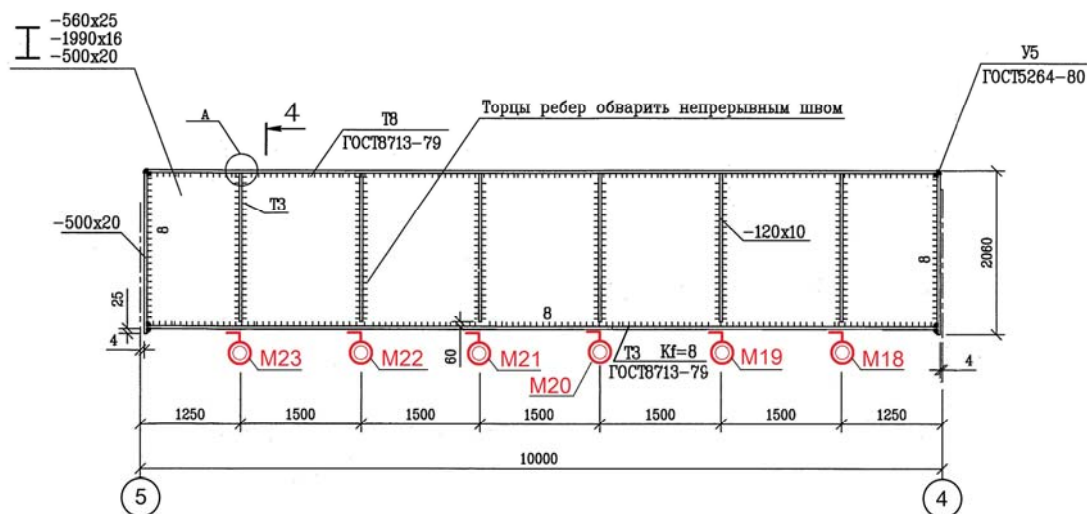


Рис. 6. Схема расположения триппельпризменных отражателей на нижнем поясе подкрановой балки в осях 4-5/В



разбиты на группы, которые подвергались непрерывному наблюдению по мере продвижения крана с грузом к месту установки статора. Общий вид конструкций с места расположения рабочей станции приведен на рис. 7.

Автоматизация процесса и высокая скорость измерений позволила в полной мере отслеживать деформации подкрановых балок при перемещении

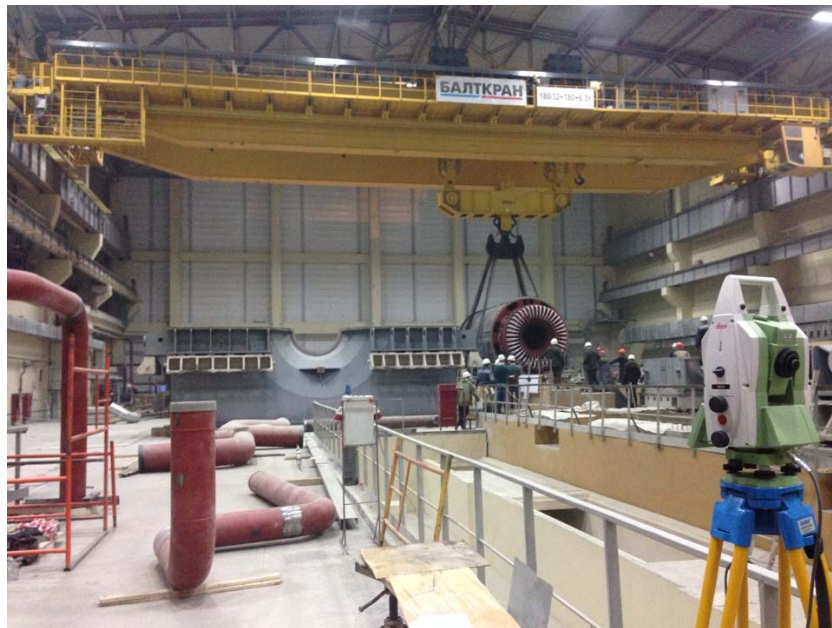


Рис. 7. Место расположения рабочей станции в здании машинного зала в районе осей 7/ В/2

мостового крана с грузом вдоль балок. Полученные данные постоянно сообщались группе, управляющей процессом монтажа. С помощью программы Leica Geomos Analyzer строились наглядные графики перемещений. В случае превышения расчетных значений деформаций эта информация, как и в случае мониторинга свода реакторного отделения, незамедлительно была бы получена руководителем работ и позволила бы предотвратить возникновение аварийной ситуации. Максимальное перемещение в середине пролета балок в процессе монтажа составило 11,13 мм и не превысило расчетное значение 16 мм.

Успешными примерами реализации мониторинга за зданиями, попадающими в зону влияния строек и природно-техногенных воздействий являются мониторинги деформационных состояний таких объектов, как «Усадьба Шумкова» и здания существующей городской застройки в районе строительства жилого комплекса «Первый Николаевский» в г. Екатеринбург.

Здание «Усадьба Шумкова» (рис. 8) является объектом культурного наследия областного значения, который включен в список памятников культуры, подлежащих охране как памятники местного значения. Здание кирпичное, двухэтажное, без подвала, прямоугольное в плане с ризалитом слабого выноса. Размеры здания в плане 11,56x11,9м.

Для ориентирования прибора в созданной системе координат методом обратной засечки на фасады близрасположенных зданий были закреплены специальные марки (пленочные отражатели ОП50) в количестве 7 штук (рис. 9).

На фасаде усадьбы и ее кирпичных воротах для фиксации деформационных точек установлены опорные катафотные минипризмы Leica (всего 8 штук). Призмы были установлены в местах, доступных для автоматизированного снятия показаний. Продолжительность наблюдений за деформациями составила 5 месяцев. Выезды на место строительства осуще-





Рис. 8. Общий вид здания «Усадьба Шумкова», г. Екатеринбург



Рис. 9. Пленочный отражатель ОП50 для обратной засечки на фасаде здания

ствлялись с периодичностью 1 раз в месяц. Значимых деформаций конструкций здания усадьбы за период производства мониторинга не выявлено.

В настоящий момент специалистами Уральского федерального университета им. первого Президента России Б.Н. Ельцина совместно со специалистами ООО «ТЕХКОН» осуществляется мониторинг зданий, попадающих в зону влияния вновь



Рис. 10. Общий вид зданий в зоне влияния строящегося объекта «Первый Николаевский»

строящегося объекта — жилого комплекса «Первый Николаевский» в г. Екатеринбург. Для наблюдения за деформационным состоянием зданий на фасады последних установлены триппельпризменные отражатели в количестве 67 штук. Для обратной засечки также используются фирменные отражатели фирмы Leica, установленные на фасады зданий, не попадающих в зону влияния строительства. За полтора года наблюдений запланировано не менее 40 выездов на объект с целью снятия показаний. Общий вид зданий, подвергающихся мониторингу, представлен на рис. 10.

Рассмотренные примеры хорошо демонстрируют возможности и практичность применения аппаратно-программного комплекса Leica Geomos на основе автоматизированного тахеометра Leica TM30 в условиях, где использование обычных средств геодезического наблюдения было бы весьма затруднительно.

#### Библиографический список

1. Алехин В. Н. Мониторинг деформаций в реальном времени с помощью автоматизированных программно-аппаратных систем / В.Н. Алехин, М.В. Плетнев, А.А. Антипин, С.Н. Городилов, А.Б. Ханина, М.А. Зубрицкий // Научно-технический журнал по геодезии, картографии и навигации «Геопрофи», 2013. №6.- С.20-23.
2. Алехин В.Н. Деформационный мониторинг зданий и сооружений/ В.Н. Алехин, А.А. Антипин, С.Н. Городилов, А.Б. Ханина // УрФО: Строительство. ЖКХ, 2013. №4(79).- С.1.
3. Алехин В.Н. Автоматизированный мониторинг деформаций при монтаже уникальных и ответственных конструкций / В.Н. Алехин, М.В. Плетнев, А.А. Антипин, С.Н. Городилов, А.Б. Ханина, М.А. Зубрицкий // УрФО: Строительство. ЖКХ, 2013. №7(82).- С.10-13.